

11. Калашник А.И., Казачков С.В., Сохарев В.А., Запорожец Д.В., Дьяков А.Ю. Выявление дислокаций в скальных горнотехнических конструкциях // Вестник МГТУ: Тр. Мурман. гос. тех. университета. – 2013. – Т.16. - № 1. – С. 93-97.

12. Mohamed Elkarmotya In-situ GPR test for three-dimensional mapping of the dielectric constant in a rock mass / Mohamed Elkarmotya, Camilla Colla, Elena Gabrielli, Paolo Papeschi, Stefano Bonduà, Roberto Bruno // Journal of Applied Geophysics, 2017. – Volume 146. – Pages 1-15

13. Melnikov N.N., Kalashnik A.I., Kalashnik N.A. Integrated multi-level geofluid mechanics monitoring system for mine waterworks / Melnikov N.N., Kalashnik A.I., Kalashnik N.A. // Eurasian Mining. – 2018. – №2. – С.7-10.

УДК 622.831.3:622.34

ГЕОМЕХАНИЧЕСКОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ РАЗРАБОТКИ РУДНЫХ ПЛАСТОВ В ТЕКТОНИЧЕСКИ НАПРЯЖЕННЫХ ПОРОДАХ

А.И. Калашник

ведущий научный сотрудник лаборатории Геофлюидомеханики, канд. техн. наук, Горный институт КНЦ РАН, Апатиты, Россия, e-mail: kalashnik@goi.kolasc.net.ru

Аннотация. В работе изложены результаты исследования, направленного на обоснование методического подхода к геомеханическому обеспечению разработки рудных пластов в тектонически напряженных породах. Концепция методического подхода заключается в том, что в структуре взаимосвязи геомеханики и технологии подземных горных работ выделяются шесть основных этапов, отражающих жизненный цикл разработки рудного месторождения: разведка, доразведка и вскрытие, опытно-промышленные работы, эксплуатация, неполная подработка, полная подработка, консервация. Показано, что сложность геомеханического обоснования возрастает кратно в случае, когда месторождение представлено свитой рудных тел и располагается в тектонически напряженном массиве скальных пород. Выполнено обоснование и даны геомеханические рекомендации для условий совместной отработки двух рудных пластов в условиях действия тектонических сил, регламентирующие порядок и последовательность ведения горных работ.

Ключевые слова: геомеханика, подземная разработка, рудные пласты, тектонически напряженные породы.

GEOMECHANICAL ENSURING OF MINING DEVELOPMENT OF TECTONIC STRESSED ORE LAYERS

Anatoly Kalashnik

Leading Researcher of Geoflyuidomechanikal Laboratory, Ph.D., Mining institute KSC RAS, Apatity, Russia, e-mail: kalashnik@goi.kolasc.net.ru

Abstract. In paper results of the research directed to justification of methodical approach to geomechanical ensuring development of ore layers in tectonic stress rock are explained. The concept of methodical approach is that in structure of interrelation of geomechanics and technology of underground mining operations seven main stages reflecting life cycle of development of the ore field are allocated: investigation, additional exploration and opening, trial works, operation, incomplete side job, the complete side job, preservation. It is shown that the complexity of geomechanical justification increases multiply in case the field is presented by suite of ore bodies and is located in tectonic stress rock massive. Justification is executed and the geomechanical recommendations for conditions of collateral working off two ore layers in the conditions of action of tectonic forces regulating an order and the sequence of conducting mining operations are made.

Keywords: geomechanics, underground mining, ore layers, tectonic stress rock.

Введение. Общая концепция развития геомеханического обоснования разработки рудных пластовых месторождений в тектонически напряженном массиве пород основана на предпосылках постоянного углубления горных работ, возрастании удароопасности, изменении интенсивности добычи при различных горно-геологических условиях, увеличении наукоемкости горного производства и повышении требований к информационному обеспечению управления горным давлением [1, 2]. Широкое использование компьютеров и цифровых технологий должно привести к ситуации, когда возможно будет оперативно иметь необходимую информацию, осуществлять прогнозные расчеты, посредством телеметрических средств вести мониторинг и на этой основе знать где, когда и какие горные работы приведут к тем или иным изменениям в геодинамическом состоянии породного массива, как это состояние будет изменяться в дальнейшем, и какие необходимы превентивные меры и технические мероприятия [3-5].

Цель работы. Информация о свойствах и состоянии пород и руд, геомеханических условиях ведения горных работ на различных рудниках, пластах, горизонтах, участках, технологических стадиях и процессах представляет интерес для специалистов различных служб рудников и, в целом, комбинатов. Как известно, главным условием эффективной и безопасной разработки месторождений полезных ископаемых является правильное понимание характера горно-геологических условий и тенденций их изменений в процессе ведения горных работ. Для этого необходимо, прежде всего, знание свойств и состояния горных пород и руд, слагающих массив, и особенностей структуры массива. На многих месторождениях в связи с увеличением глубины работ и повсеместным усложнением горнотехнических условий добычи необходимость в такой информации постоянно существует и, более того, увеличивается. Установлено, что при сооружении шахтных стволов, рудоспусков, тоннелей, проектировании и создании кон-

струкций систем разработки месторождений полезных ископаемых своевременное получение достоверной и детализированной информации о состоянии массивов горных пород позволяет в общем случае в 2-3 раза повысить прочность и долговечность подземных конструкций и выработок, повысить безопасность горных работ и получить существенный экономический эффект [1]. Целью исследования является обоснование методического подхода к геомеханическому обеспечению разработки рудных пластов в тектонически напряженных породах.

Результаты исследования. Концепция методического подхода заключается в том, что в структуре взаимосвязи геомеханики и технологии подземных горных работ выделяются шесть основных этапов, отражающих жизненный цикл разработки рудных пластов [6] (рис. 1).

На первом этапе, в процессе проведения инженерно-геологических изысканий, обеспечивается получение первичной информации об основных горно-геологических и геомеханических факторах. На основе этой информации формируется представление о геомеханической модели массива и основных (укрупненных) ограничениях (рекомендациях) по геомеханике для месторождения. Эти данные должны служить основой для выбора способа отработки рудных пластов, схем вскрытия, порядка отработки, ориентировки основных выработок, класса систем разработки.

На втором этапе, при доразведке, вскрытии месторождения, проведении подготовительных и нарезных работ, в процессе эксплуатационной разведки требуется проведение геомеханических определений и изысканий с целью уточнения первичных геомеханических данных. На базе этих данных выполняется дифференциация массива по основным горно-геологическим и геомеханическим факторам и формируются детализированные (по участкам месторождения) ограничения по геомеханике. Это должно служить основой для выбора и конструирования систем (вариантов систем), определения безопасных параметров основных конструктивных элементов систем разработки (К.Э.С.Р.). Этот этап должен включать в себя проведение геомеханической экспертизы и выполнение опытно-промышленных работ. Здесь имеется в виду оценка прочности (прогноз устойчивости) и работоспособности принятых технологических схем и основных конструкций систем разработки с целью уточнения и оптимизации их параметров.

На третьем этапе, в процессе ведения горных работ, должно быть организовано исследование условий работы основных конструкций. В начальной стадии отработки месторождения, когда общий пролет подработки L значительно меньше глубины H ведения работ ($L \ll H$), в условиях так называемой «неполной подработки» - допустимо рассматривать

каждую конструкцию в отдельности (при прочих допущениях). На данном этапе формируются ограничения по геомеханике для конструктивных элементов систем разработки. На этой основе, и с учетом результатов и данных, полученных на третьем этапе, должна проводиться оперативная оптимизация (с позиций безопасности и надежности параметров основных элементов систем разработки и технологических процессов).

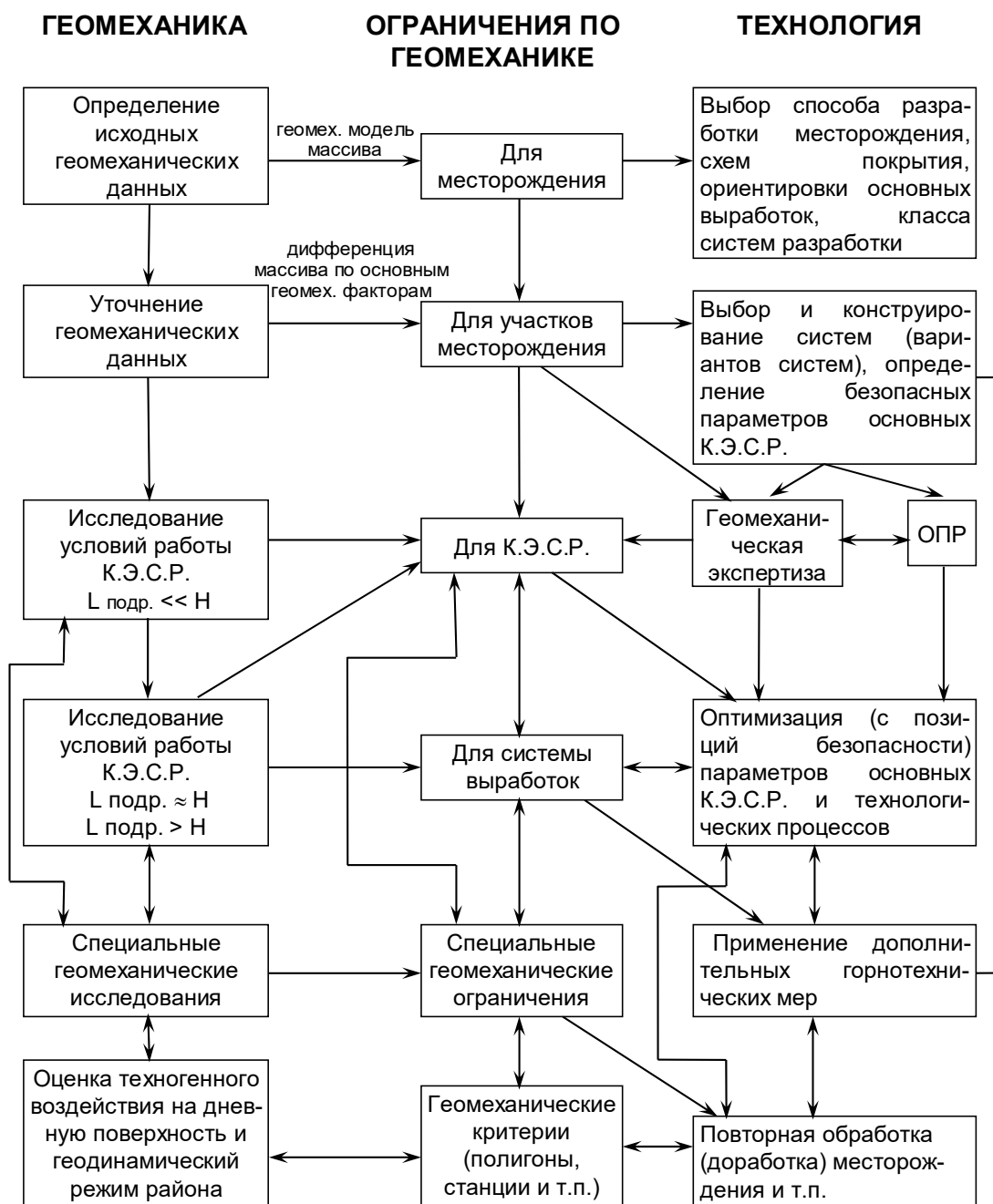


Рисунок 1 - Структура и взаимосвязи геомеханического обеспечения разработки рудных пластов

Дальнейшая эксплуатация месторождения приводит к условиям «полной подработки» ($L/H \geq 1$) массива пород (этап 4). В этих условиях все конструкции (целики, выработки, камеры, подработанный массив) работают как единая система. На данном этапе также необходимо геомеханическое сопровождение, в том числе исследование условий работы основных конструкций. Полученные данные и закономерности позволяют разработать ограничения (рекомендации) по геомеханике для этого этапа разработки месторождения, включающие применение дополнительных горнотехнических мер (например, для обеспечения устойчивости, снижения удароопасности основных элементов систем разработки, в очистном забое, погашение выработанного пространства и т.п.).

Пятый этап включает в себя проведение специальных геомеханических исследований. Практика отработки ряда месторождений, в том числе и Кольского полуострова, свидетельствует о том, что в результате выемки и перемещения больших масс горных пород в процессе добычи полезных ископаемых, происходит изменение геодинамического режима всего района [7]. В результате создаются условия для реализации мощных горных ударов, подземных толчков (горно-тектонических ударов), вплоть до техногенных землетрясений. Для проведения специальных исследований необходимо создание геодинамических полигонов, комплексных наблюдательных станций, многоуровневых систем контроля и мониторинга [3-5, 8]. На данном этапе разрабатываются специальные геомеханические ограничения (рекомендации), направленные на предотвращение крупных негативных последствий разработки месторождения (горно-тектонические удары и землетрясения). Это может также служить основой в случае повторной отработки (доработке) месторождения.

Шестой этап завершает геомеханическое сопровождение эксплуатации месторождения. После того, как добычные работы на месторождении закончены, в процессе его консервации и рекультивации земель в подработанном массиве пород продолжают геомеханические процессы, стремящиеся привести массив в равновесное состояние. Период их затухания может составлять десятки лет, в течение которых также возможны подземные толчки и техногенные землетрясения. В этот период необходим геомеханический контроль состояния массива в целях прогнозирования вышеуказанных явлений и своевременного принятия соответствующих мер.

Следует особо подчеркнуть, что сложность геомеханического обоснования возрастает кратно в случае, когда месторождение представлено свитой рудных тел в тектонически напряженном массиве скальных пород [9]. К вышеперечисленным основным факторам добавляются параметры

совместного залегания, в т.ч. мощность междупластья, степень технологической сближенности рудных тел и т.д.

Эффективная и безопасная отработка свиты пологопадающих рудных залежей в тектонически напряженном одноименном массиве пород в значительной степени зависит от правильного выбора и конструирования схем разработки залежей в свите, включающих последовательность и порядок их отработки, направление очистной выемки, взаимное расположение целиков, очистных и подготовительных выработок, регламентацию ведения работ по залежам в зоне их одновременной отработки и др. [9]. Условия разработки сближенных залежей осложняются тем обстоятельством, что обрабатываемые участки одновременно испытывают взаимное влияние. Ведение работ под (над) целиками, краевыми частями смежных залежей, обуславливающих формирование значительных нагрузок на несущие конструкции, как правило, осложняется повышенным вывалообразованием и динамическими проявлениями горного давления. Поэтому отработку залежей в свите необходимо осуществлять с применением таких схем, которые позволяли бы максимально снизить или (и) использовать взаимное влияние работ по залежам для управления состоянием подработанного массива и горным давлением и обеспечения безопасной и рациональной выемки руд. Выбор и конструирование схем разработки залежей в свите, регламентация ведения работ, локальное и региональное управление горным давлением должны базироваться на комплексном учете горно-геологических, горнотехнических и исходных геомеханических условий месторождения и их изменений в процессе отработки месторождения.

Исследованиями установлено, что в условиях действия тектонических напряжений напряженно-деформированное состояние в зоне одновременной отработки двух пластов характеризуется превалирующим действием сжимающих напряжений, в том числе и в кровле очистных выработок, при этом горизонтальные напряжения повсеместно, за исключением краевых частей залежей, в 2-10 раз превышают вертикальные [2, 8, 9]. Установлено, что опережающая наработка позволяет снизить вертикальные напряжения в краевой части нижней залежи более, чем в 1,3 раза. Наибольшее деформирование пород междупластья и подработанных толщ массива происходит непосредственно в зоне ведения работ и локализуется между широкими барьерными целиками или барьерным целиком и нарушенным (неподработанным) массивом. Взаимное влияние горных работ в смежных пластах проявляется при соотношении мощности междупластья M и пролета в очистной панели по падению рудной залежи $-M/l \geq 1$.

Таким образом, общие рекомендации и ограничения по геомеханике для условий совместной отработки двух рудных пластов в тектонически напряженном массиве пород сводятся к следующим:

1. Порядок отработки пласта, шахтного поля - прямой (от центра к флангам).

2. В зоне совместной одновременной отработки пластов - с опережающей отработкой верхнего пласта. Величина опережения должна быть не менее:

по простиранию – $l_{он} = 2l_{пд} + l_{зап}$

по падению (восстанию) – $l_{он} = l_{пд} + l_{зап}$

где $l_{он}$ – минимальное опережение, м; $l_{пд}$ – горизонтальный размер зоны повышенного давления впереди очистного забоя, м; $l_{зап}$ – запас (на практике $l_{зап} = 30$ м).

3. Постоянные целики на пластах в зонах их сближенной отработки необходимо оставлять соосно (несоосность не должна превышать 0,2 минимального пролета очистного блока).

4. Ширина панелей в зонах сближенной отработки пластов не должна превышать нормальную мощность междупластья.

5. Проходка минимального количества капитальных и подготовительных выработок впереди фронта очистных работ. При этом их направление должно совпадать по возможности с направлением действия максимальных сжимающих субгоризонтальных тектонических сил.

Выводы. Выполнены исследования по обоснованию методического подхода к геомеханическому обеспечению разработки рудных пластов в тектонически напряженном массиве. Разработан методический подход, который заключается в том, что в структуре взаимосвязи геомеханики и технологии подземных горных работ выделяются шесть основных этапов, отражающих жизненный цикл разработки рудного месторождения: разведка, доразведка и вскрытие, опытно-промышленные работы, эксплуатация, неполная подработка, полная подработка, консервация. Показано, что сложность геомеханического обоснования возрастает кратно в случае, когда месторождение представлено в тектонически напряженном массиве пород свитой рудных тел. Выполнено обоснование и даны геомеханические рекомендации для условий совместной отработки двух рудных пластов в условиях действия тектонических сил, регламентирующие порядок и последовательность отработки пластов, а также взаимное расположение фронтов ведения добычных работ и конструктивных элементов системы разработки.

Исследования выполнены в рамках проекта РФФИ № 18-05-00563а

ЛИТЕРАТУРА

1. Совершенствование технологии подземной разработки маломощных рудных месторождений Кольского полуострова / И.И. Бессонов, В.Н. Боборыкин, А.И. Калашник и др. - Апатиты: КНЦ АН СССР, 1989. – 156 с.
2. Указания по безопасному ведению горных работ на Ловозерском месторождении, склонном к горным ударам / А.А. Козырев, А.В. Ловчиков, И.И. Бессонов и др. - Апатиты: Изд. Кольского филиала АН СССР, 1988. - 77 с.
3. Мельников Н.Н. Комплексная многоуровневая система геомониторинга природно-технических объектов горнодобывающих комплексов / Н.Н. Мельников, А.И. Калашник, Н.А. Калашник, Д.В. Запорожец // ФТПРПИ. - 2018. - №4. - С.3-10.
4. Melnikov N.N. Integrated multi-level geofluid mechanics monitoring system for mine waterworks / N.N. Melnikov, A.I. Kalashnik, N.A. Kalashnik // Eurasian Mining. - 2018. - №2. - С.7-10.
5. Мельников Н.Н. Создание многоуровневой системы геодинамического мониторинга горнотехнических и нефтегазовых объектов западной части российского сектора Арктики / Н.Н. Мельников, А.И. Калашник // Арктика: экология и экономика. – 2015. - № 3 (19). – С.66-75.
6. Бессонов И.И. Выбор современной технологии очистной выемки тонких пологих рудных залежей на основе учета геомеханических факторов / И.И. Бессонов, В.Н. Боборыкин, А.И. Калашник // Горный журнал. – 1990. - № 3. – С. 23-26.
7. Козырев А.А. Причины и следствие горно-тектонических ударов на руднике «Умбозеро» в Ловозерском массиве / А.А. Козырев, В.И. Иванов, В.И. Панин, В.В. Захаров, А.И. Калашник // Прогноз и предотвращение горных ударов на рудных месторождениях. - Апатиты: 1993. - С.58-67.
8. Ловчиков А.В. Инновационные решения по управлению горным давлением при отработке Ловозерского редкометалльного месторождения / А.В. Ловчиков // Вестник КНЦ. - 2019. - № 1 (11). - С. 50-56.
9. Савченко С.Н. Особенности распределения тектонических напряжений в зоне отработки сближенных пологих рудных пластов / С.Н. Савченко, А.И. Калашник // ФТПРПИ. – 1985. - № 3. - С. 70-72.

УДК 622.272

ОБОСНОВАНИЕ ОСНОВНЫХ КОНСТРУКТИВНЫХ РЕШЕНИЙ МЕХАНИЗМА ПЕРЕМЕЩЕНИЯ МАЛОЗАХВАТНОЙ БЫСТРОХОДНОЙ ВЫЕМОЧНОЙ МАШИНЫ

Л.В. Лукиенко

доктор технических наук, доцент, заведующий кафедрой «Агроинженерии и технической безопасности» ФГБОУ ВО Тульский государственный педагогический университет им. Л.Н. Толстого, г. Тула, Россия, e-mail: lukienko_lv@mail.ru

Аннотация: в статье представлены результаты разработки конструктивного решения малозахватной быстроходной выемочной машины. Показано, что для соответствия